

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

EP 99/07101



REC'D 27 OCT 1999	
WIPO	PCT

EJV

Bescheinigung

Die Rohde & Schwarz GmbH & Co KG in München/Deutschland hat eine
Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Verfahren zur Anzeige des Modulationsfehlers eines Multiträger-
Signals"

am 26. Oktober 1998 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprüngli-
chen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig das Symbol
H 04 L 27/34 der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 31. August 1999

Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

zeichnen: 198 49 319.3

Dzierzon

Balz2

Verfahren zur Anzeige des Modulationsfehlers eines Multiträger-Signals

5

Der Modulationsfehler (Modulation Error Ratio MER) ist eine wichtige Kenngröße für die in der modernen Übertragungstechnik beispielsweise bei DAB (Digital Audio Broadcasting) bzw. DVB-T (Digital Video Broadcasting - terrestrial) benutzten OFDM

10

(Orthogonal Frequency Devision and Multiplexing)-Multiträger-Systeme, da er die mittlere bzw. maximale Abweichung der hierbei verwendeten Amplituden- und Phasenzustände (I- und Q-Werte) von den idealen Signalzuständen der verwendeten

15

Digitalmodulation angibt und damit ein Maß für die Signalqualität darstellt. Der Modulationsfehler wird als Mittelwert und als Maximalwert angegeben. Zu seiner Berechnung werden alle Entscheidungsfelder des Modulations-Vektordiagramms nacheinander untersucht. Für die Ermittlung des Maximalwertes wird in jedem Entscheidungsfeld der maximale Betrag des Differenzvektors vom idealen Signalzustand zu den aufgetretenen Signalzuständen (Fehlervektor) gesucht. Außer dem Maximum der Zwischenergebnisse wird dann der Maximalwert des Modulationsfehlers MER_{MAX}

20

gerechnet nach der Beziehung

$$MER_{MAX} = 100 \cdot \frac{\max\{|\text{Fehlervektor}|\}}{\overline{VM}} \quad [\%]$$

- Dabei ist \overline{VM} der quadratisch gewichtete Mittelwert der Amplitude aller idealen Signalzustände eines mit Nutzdaten modulierten Trägers der jeweils verwendeten Modulationsart, der für die am häufigsten benutzten Modulationsarten wie 16QAM usw. bekannt ist bzw. einfach berechnet werden kann und als Konstante bei der
- 5 Berechnung eingesetzt wird.

- Für den mittleren Modulationsfehler werden alle Beträge der Differenzvektoren vom idealen Zustand zum aufgetretenen Zustand quadratisch addiert und die Anzahl der Symbole gezählt. Anschließend wird der mittlere Modulationsfehler MER_{RMS} nach der
- 10 Beziehung

$$MER_{RMS} = 100 \cdot \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_n |Fehlervektor|^2}}{\overline{VM}} \quad [\%]$$

- 15 berechnet.

Beide nach obigen Beziehungen in Prozent berechnete Größen lassen sich auch im logarithmischen Maßstab in dB angeben nach folgender Umrechnung:

20

$$MER_{dB} = -20 \cdot \lg \left(\frac{MER[\%]}{100} \right) \quad [dB]$$

Der Begriff Modulationsfehler und die entsprechenden Berechnungsvorschriften hierfür sind von der DVB Measurement Group im ETR 290 für DVB-C und DVB-S festgeschrieben und genormt. Fig. 1 zeigt beispielhaft die zur Berechnung des Modulationsfehlers notwendigen Vektoren im ersten Quadranten und zwar für 64QAM.

5

Es ist bekannt, jeweils für einen einzigen Träger nach den obigen Formeln den Modulationsfehler zu berechnen und als Zahlenwert anzuzeigen. Für

Multiträgersysteme mit 1000 oder noch mehr einzelnen Trägern, wie dies bei DAB mit 1536 Trägern und bei DVB sogar mit 1705 bzw. 6817 Trägern der Fall ist, ist diese Art der Modulationsfehlerberechnung und Einzelträger Darstellung nicht mehr brauchbar.

10

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren aufzuzeigen, mit welchem der Modulationsfehler auf einfache Weise mit geringstmöglichem Rechenaufwand berechnet und außerdem so dargestellt werden kann, daß eine einfache und übersichtliche meßtechnische Auswertung für alle Träger möglich ist.

15

Diese Aufgabe wird für die Anzeige des mittleren Modulationsfehlers gemäß Anspruch 1 und für die Anzeige des maximalen Modulationsfehlers nach Anspruch 2 gelöst, wobei diese beiden Möglichkeiten vorzugsweise kombiniert angewendet werden, so daß einem Benutzer gleichzeitig der mittlere und der maximale Modulationsfehler in Abhängigkeit von der Frequenz angezeigt wird. Vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den übrigen Unteransprüchen.

20

Gemäß der Erfindung wird durch einfache aufeinanderfolgende Rechenschritte der mittlere bzw. maximale Modulationsfehler berechnet, das Ergebnis entspricht dabei den

25

eingangs erwähnten Beziehungen, die aufgezeigten aufeinanderfolgenden Rechenschritte gemäß der Erfindung lösen diese Berechnung jedoch in kürzerer Rechenzeit und auch mit dazu erforderlichem geringerem Speicherumfang und können z.B. auf jedem handelsüblichen PC ausgeführt werden. Durch die Abspeicherung der einzelnen

5 berechneten Werte in Speicherzellen eines genausoviel Zellen wie Träger aufweisenden Speichers steht das Ergebnis der Modulationsfehlerbestimmung unmittelbar in Zuordnung zu den einzelnen Trägern zur Verfügung und kann damit unmittelbar in

~~Abhängigkeit von der Frequenz für das gesamte Multiträger-Frequenzband graphisch~~

10 dargestellt werden. Damit kann ein Benutzer sofort feststellen, an welchen Stellen des Spektrums kritische Verhältnisse vorliegen und es kann somit erstmals auch ein Multiträger-System auf einfache Weise bezüglich Modulationsfehler meßtechnisch analysiert werden.

Der Modulationsfehler eines einzelnen Trägers unterliegt großen statistisch bedingten

15 Schwankungen. Es ist daher erforderlich, daß gemäß der Erfindung zunächst eine Integration über mehrere Symbole der auf den einzelnen Trägern aufmodulierten Daten durchgeführt wird. Voraussetzung für das erfindungsgemäße Verfahren ist die Kenntnis der Signalkonstellation jedes einzelnen Trägers, wie dies für 64 QAM in Fig. 1 schematisch für einen Quadranten in der I/Q-Ebene dargestellt ist. Für jedes aktuelle

20 Symbol wird zunächst nach der Beziehung

$$m_k = |\text{Fehlervektor}_k|^2$$

das Quadrat des Fehlervektors des aktuellen Einzelträgers k berechnet. Da hier für jeden Träger nur ein einziger Punkt der Signalkonstellation ausgewertet wird, entfällt die Summation gemäß der eingangs erwähnten allgemeinen Gleichung.

- 5 In einem zweiten Rechenschritt wird dann das Ergebnis m_k für jeden Einzelträger k separat mit dem Inhalt einer speziell für diesen Einzelträger reservierten Speicherzelle verglichen, die wiederum einem Speicher $A1$ zugeordnet ist. Dabei hat dieser Speicher $A1$ genausoviel Speicherplätze $K_{MAX} + 1$, wie Träger in dem OFDM-System vorhanden sind. Bei der dem aktuellen Träger k zugeordneten Speicherzelle des
- 10 Speichers $A1$ wird geprüft, ob der aktuelle Meßwert m_k größer ist als der in dieser Speicherzelle bereits abgespeicherte Wert. Ist der abgespeicherte Wert größer als der aktuelle Wert, bleibt der Speicherzelleninhalt unverändert. Ist der aktuelle Wert größer, wird dieser als neuer Wert in die Speicherzelle eingelesen. Auf diese Weise wird für jeden Träger der Maximalwert abgespeichert.

15

Gleichzeitig wird das Ergebnis der m_k des aktuellen Modulationsfehlers für jeden Einzelträger separat mit dem Inhalt einer eigenen Speicherzelle des zweiten Speichers $A2$ verrechnet, welcher ebenfalls soviel Speicherplätze aufweist, wie Träger im OFDM-System vorhanden sind. Dabei wird der bisher in der Speicherzelle k stehende Wert $A2_k$

- 20 mit dem aktuellen Meßwert m_k nach folgender Beziehung verrechnet:

$$A2_{k,l+1} = \frac{(A2_{k,l} \cdot l + m_k)}{(l+1)} \quad (\text{Iterationsformel})$$

mit

$A2_{k,l+1}$: neuer Meßwert (Zeitpunkt $l+1$), der in Speicherzelle k des Speichers $A2$ abgelegt werden soll,

25

$A2_{k,l}$: bisheriger Meßwert (Zeitpunkt l) aus Speicherzelle k des Speichers $A2$,

m_k : aktuell gemessenes Fehlerquadrat für Träger k ,

k: Trägernummer innerhalb des OFDM-Spektrums, wächst mit der Frequenz, $k = 0 \dots K_{\max}$,
l: Nummer des Symbols, wächst mit der Zeit, $0 \leq l$.

Dieser Rechenschritt wird für alle Träger des Symbols wiederholt. Dann wird für das

- 5 nächste Symbol der gleiche Prozeß wiederum für alle Träger ausgeführt. So entsteht im Laufe vieler Symbole im Speicher A2 ein repräsentatives Abbild des mittleren Modulationsfehlers als Funktion von der Frequenz bzw. der jeweiligen Trägernummer *k*. Diese Rechenschritte liefern exakt das gleiche Ergebnis wie die eingangs erwähnte genormte Gleichung.

10

Alternativ kann der dritte Rechenschritt auch auf folgende Weise aufgeteilt werden. Zunächst wird nach folgender Beziehung ein Zwischenwert berechnet:

$$A2'_{k,l+1} = A2'_{k,l} + m_k \quad (\text{Iterationsformel})$$

15

mit

A2'_{k,l+1}: neuer Meßwert (Zeitpunkt *l+1*), der in Speicherzelle *k* des Speichers A2 abgelegt werden soll,

A2'_{k,l}: bisheriger Meßwert (Zeitpunkt *l*) aus Speicherzelle *k* des Speichers A2,

m_k: aktuell gemessenes Fehlerquadrat für Träger *k*,

k: Trägernummer innerhalb des OFDM-Spektrums, wächst mit der Frequenz, $k = 0 \dots K_{\max}$,

l: Nummer des Symbols, wächst mit der Zeit, $0 \leq l$.

20

- Wenn nun der Speicher A2' für die Darstellung des mittleren Modulationsfehlers am
 25 Bildschirm herangezogen werden soll, muß der Inhalt jeder einzelnen Speicherzelle zuvor noch durch die Anzahl der bis dahin erfaßten Symbole *l+1* geteilt werden, die in einem eigenen Zähler ermittelt wird. Dann kann nach der Beziehung

$$A2_{k,l} = \frac{A2'_{k,l}}{1+l}$$

- wieder der Endwert $A2$ berechnet werden. Diese Aufteilung ermöglicht einen
- 5 schnelleren Programmablauf innerhalb eines digitalen Signalprozessors.

Aus den so berechneten Werten von $A1$ und $A2$ kann in einem abschließenden Rechenschritt dann jeweils der eigentliche mittlere bzw. maximale Modulationsfehler nach folgender Beziehung aus der für die jeweils angewandte Modulationsart bekannten

- 10 Größe \overline{VM} berechnet werden:

$$MER_{MAX,k} = 100 \cdot \frac{\sqrt{A1_k}}{\overline{VM}} \quad [\%]$$

$$MER_{RMS,k} = 100 \cdot \frac{\sqrt{A2_k}}{\overline{VM}} \quad [\%]$$

- 15 Wenn eine Anzeige in dB gewünscht wird, kann der Prozentwert nach folgender Beziehung umgerechnet werden:

$$MER_{dB} = -20 \cdot \lg\left(\frac{MER[\%]}{100}\right) \quad [dB]$$

20

Aus dem Maximalwert in Prozent wird dadurch ein Minimalwert in dB.

Fig. 2 zeigt die Darstellung des maximalen bzw. mittleren Modulationsfehlers in einem Diagramm auf dem Bildschirm einer Anzeigeeinrichtung, die Abszisse ist mit den Nummern der einzelnen Träger des OFDM-Spektrums skaliert, beispielsweise zwischen 0 bis 6816. Auf der Ordinate ist der für jeden Träger jeweils berechnete
5 Modulationsfehler aufgetragen. Die bei DVB-T an sich vorhandenen insgesamt 1705 bzw. 6817 Träger könnten unter Umständen zu Auflösungsschwierigkeiten bei der Darstellung führen. Nachdem eine übliches LC-Display beispielsweise nur insgesamt
320 Pixelspalten aufweist, ist es vorteilhaft, das insgesamt darzustellende Gesamtspektrum in beispielsweise nur 320 Träger umfassende Einzelbereiche
10 aufzuteilen und diese nacheinander darzustellen oder mehrere Träger gleichzeitig in einer Spalte des Displays zusammenzufassen.

ANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Anzeige des mittleren Modulationsfehlers MER_{RMS} eines -
- 5 Multiträger (OFDM)-Signals,
- dadurch gekennzeichnet,
- daß

a) für jedes aktuelle Modulationssymbol l jedes einzelnen Trägers k des

Multiträgersignals das Quadrat des Fehlervektors nach der Beziehung

10

$$m_k = |\text{Fehlervektor}_k|^2$$

berechnet wird,

- b) dieser Wert m_k mit dem Inhalt einer dem gleichen Träger k zugeordneten
- 15 Speicherzelle eines Speichers (A2), der genausoviel Speicherzellen wie das OFDM-Signal Träger besitzt, nach der Beziehung

$$A2_{k,l+1} = \frac{(A2_{k,l} \cdot l + m_k)}{(l+1)} \quad (\text{Iterationsformel})$$

mit

20

$A2_{k,l+1}$: neuer Meßwert (Zeitpunkt $l+1$), der in Speicherzelle k des Speichers A2 abgelegt werden soll,

$A2_{k,l}$: bisheriger Meßwert (Zeitpunkt l) aus Speicherzelle k des Speichers A2,

m_k : aktuell gemessenes Fehlerquadrat für Träger k ,

k : Trägernummer innerhalb des OFDM-Spektrums, wächst mit der Frequenz, $k = 0 \dots K_{\max}$,

l : Nummer des Symbols, wächst mit der Zeit, $0 \leq l$.

25

verrechnet wird,

c) aus diesen Werten der Speicherzellen dann nach der Beziehung

$$\text{MER}_{\text{RMS},k} = 100 \cdot \frac{\sqrt{A_{2,k}}}{\overline{\text{VM}}} \quad [\%]$$

5

der mittlere Modulationsfehler MER_{RMS} für jeden Träger berechnet wird, wobei $\overline{\text{VM}}$ der quadratisch gewichtete Mittelwert der Amplitude aller idealen Signalzustände der

jeweils verwendeten Modulationsart eines mit Nutzdaten modulierten Trägers ist, und

d) dieser MER_{RMS} -Wert dann für jeden einzelnen Träger k als Ordinatenwert eines

10 Diagramms mit der Anzahl der Träger als Abszisse graphisch dargestellt wird.

2. Verfahren zur Anzeige des maximalen Modulationsfehlers MER_{MAX} eines -
Multiträger (OFDM)-Signals, insbesondere in Kombination mit einem Verfahren nach
Anspruch 1,

15 dadurch gekennzeichnet,

daß

a) für jedes aktuelle Modulationssymbol I jedes einzelnen Trägers k des
Multiträgersignals das Quadrat des Fehlervektors nach der Beziehung

20 $m_k = |\text{Fehlervektor}_k|^2$

berechnet wird,

b) dieser Wert m_k mit dem Wert einer dem gleichen Träger k zugeordneten

Speicherzelle eines Speichers (A1), der genausoviel Speicherzellen wie das OFDM-

Signal Träger aufweist, verglichen wird, wobei der in dieser Speicherzelle abgespeicherte Wert durch den aktuellen Wert ersetzt wird, wenn der aktuelle Wert größer als der bereits abgespeicherte ist,

c) aus diesen Maximalwerten der Speicherzellen dann nach der Beziehung

5

$$\text{MER}_{\text{MAX},k} = 100 \cdot \frac{\sqrt{A_{I,k}}}{\overline{VM}} \quad [\%]$$

der maximale Modulationsfehler MER_{MAX} für jeden Träger berechnet wird, wobei \overline{VM} der quadratisch gewichtete Mittelwert der Amplitude aller idealen Signalzustände der jeweils verwendeten Modulationsart eines mit Nutzdaten modulierten Trägers ist, und

10

d) dieser MER-Max-Wert dann für jeden einzelnen Träger k als Ordinatenwert eines Diagramms mit der Anzahl der Träger als Abszisse graphisch dargestellt wird.

15

3. Verfahren nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet,

daß anstelle des Rechenschrittes a) nach Anspruch 2 beim Rechenschritt b) jeweils unmittelbar der maximale Fehlervektor je Speicherzelle abgespeichert wird und im Verfahrensschritt c) der Wert REM_{MAX} nach der Beziehung

20

$$\text{MER}_{\text{MAX},k} = 100 \cdot \frac{|\text{max. Fehlervektor}_k|}{\overline{VM}} \quad [\%]$$

berechnet und schließlich nach Verfahrensschritt d) graphisch dargestellt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

5 daß bei Verfahrensschritt b) nach Anspruch 1 zunächst nach der Beziehung

$$A2'_{k,l+1} = A2'_{k,l} + m_k \quad (\text{Iterationsformel})$$

mit

$A2'_{k,l+1}$: neuer Meßwert (Zeitpunkt $l+1$), der in Speicherzelle k des Speichers $A2$ abgelegt werden soll,

$A2'_{k,l}$: bisheriger Meßwert (Zeitpunkt l) aus Speicherzelle k des Speichers $A2$,

m_k : aktuell gemessenes Fehlerquadrat für Träger k ,

k : Trägernummer innerhalb des OFDM-Spektrums, wächst mit der Frequenz, $k = 0 \dots K_{\text{max}}$,

l : Nummer des Symbols, wächst mit der Zeit, $0 \leq l$.

10
15 ein Zwischenwert berechnet wird und dieser Zwischenwert $A2'$ vor der Anzeige nach Verfahrensschritt d) durch die in einem gesonderten Zähler gezählte Anzahl der erfaßten Symbole gemäß der Beziehung

$$A2_{k,l} = \frac{A2'_{k,l}}{l+1}$$

20
geteilt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

25 daß die zunächst in Prozent ermittelten Werte für MER_{RMS} und/oder MER_{MAX} vor ihrer frequenzabhängigen graphischen Darstellung in die Einheit dB nach der Beziehung

$$\text{MER}_{\text{dB}} = -20 \cdot \lg\left(\frac{\text{MER}[\%]}{100}\right) \quad [\text{dB}]$$

umgerechnet werden.

Zusammenfassung

Verfahren zur Anzeige des Modulationsfehlers eines Multiträger-Signals

5

Zur Anzeige des mittleren Modulationsfehlers MER_{RMS} eines Multiträger (OFDM)-Signals wird a) für jedes aktuelle Modulationssymbol l jedes einzelnen Trägers k des Multiträgersignals das Quadrat des Fehlervektors nach der Beziehung

10

$$m_k = |\text{Fehlervektor}_k|^2$$

berechnet, b) dieser Wert m_k mit dem Inhalt einer dem gleichen Träger k zugeordneten Speicherzelle eines Speichers, der genausoviel Speicherzellen wie das OFDM-Signal Träger besitzt, nach der Beziehung

15

$$A2_{k,l+1} = \frac{(A2_{k,l} \cdot l + m_k)}{(l+1)} \quad (\text{Iterationsformel})$$

mit

$A2_{k,l+1}$: neuer Meßwert (Zeitpunkt $l+1$), der in Speicherzelle k des Speichers $A2$ abgelegt werden soll,

$A2_{k,l}$: bisheriger Meßwert (Zeitpunkt l) aus Speicherzelle k des Speichers $A2$,

m_k : aktuell gemessenes Fehlerquadrat für Träger k ,

k : Trägernummer innerhalb des OFDM-Spektrums, wächst mit der Frequenz, $k = 0 \dots K_{max}$

l : Nummer des Symbols, wächst mit der Zeit, $0 \leq l$.

20 verrechnet, c) aus diesen Werten der Speicherzellen dann nach der Beziehung

$$MER_{RMS,k} = 100 \cdot \frac{\sqrt{A2_k}}{\overline{VM}} \quad [\%]$$

25 der mittlere Modulationsfehler MER_{RMS} für jeden Träger berechnet, wobei \overline{VM} der quadratisch gewichtete Mittelwert der Amplitude aller idealen Signalzustände der

jeweils verwendeten Modulationsart eines mit Nutzdaten modulierten Trägers ist, und schließlich d) dieser MER_{RMS} -Wert dann für jeden einzelnen Träger k als Ordinatenwert eines Diagramms mit der Anzahl der Träger als Abszisse graphisch dargestellt.

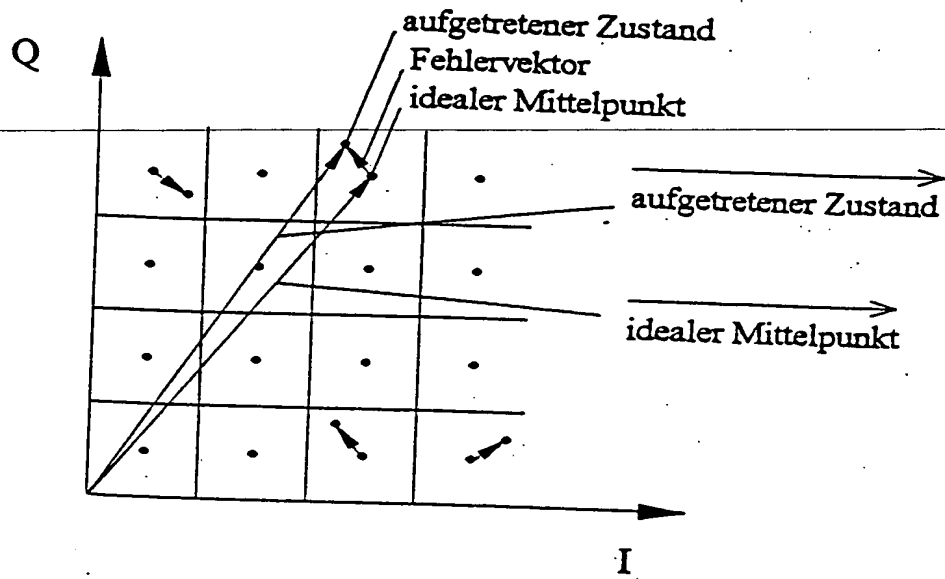


Fig. 1

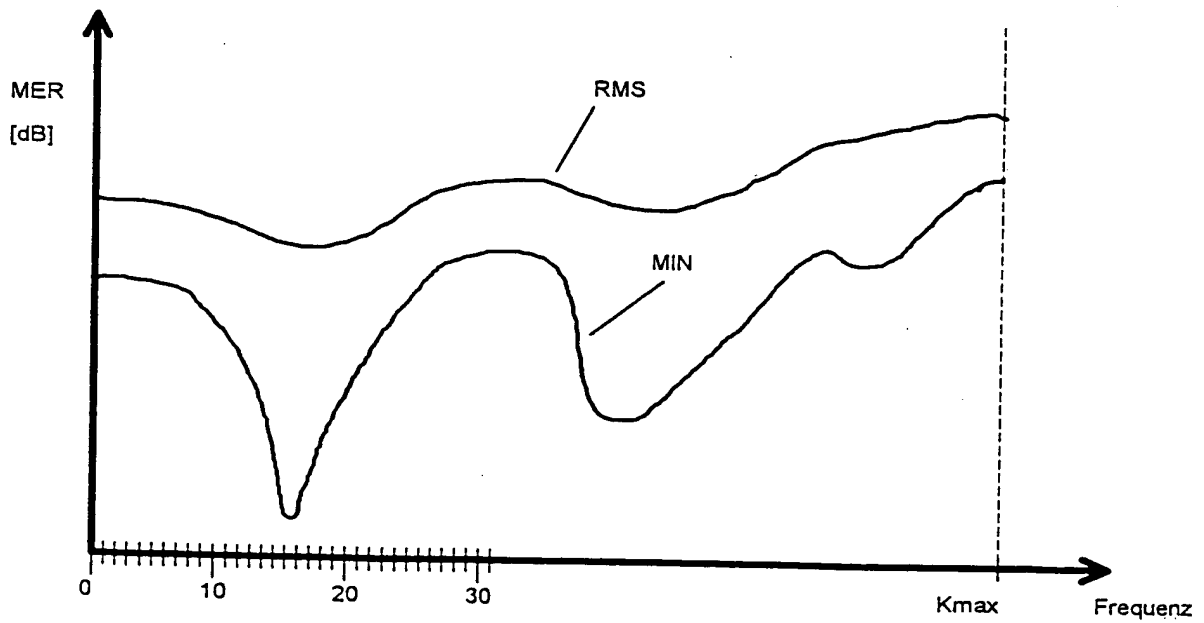
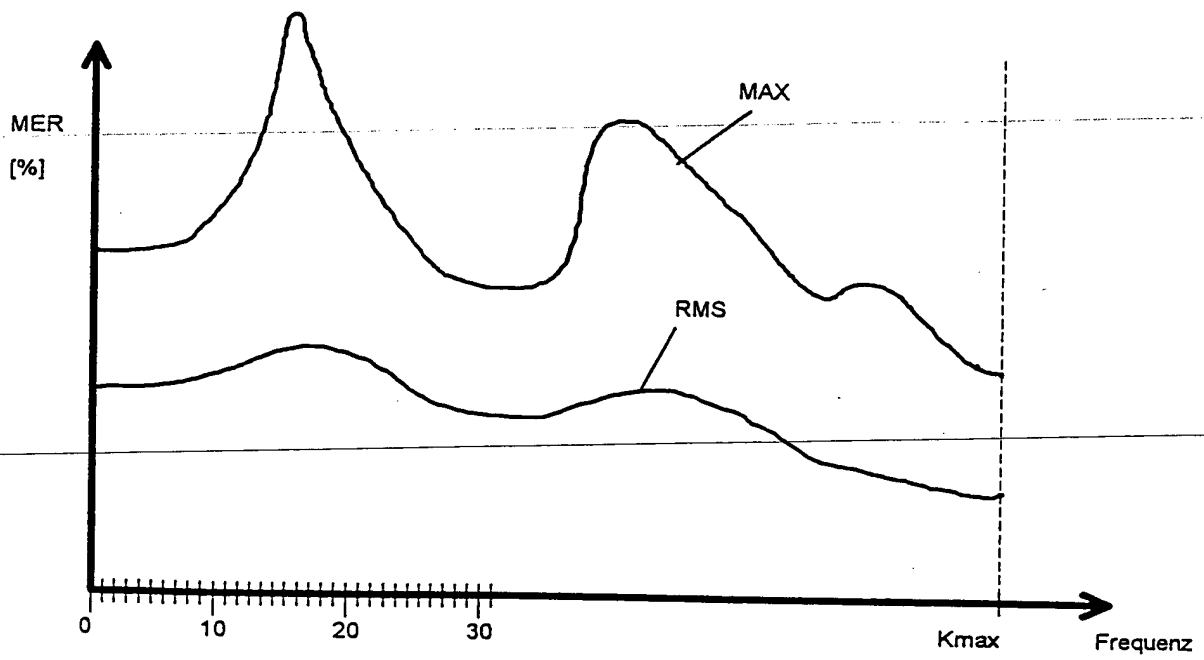


Fig. 2